

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ Cd^{2+} НА ПАРАМЕТРЫ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА И СТРУКТУРНЫЕ КОМПОНЕНТЫ МЕМБРАН ГАЛОФИТА *SUAEDA SALSA*

Ключевые слова: *Suaeda salsa*, ионы кадмия, липиды, пигменты, устойчивость.

Галофиты континентальной флоры представляют собой результат адаптации растений к экстремальным для большинства наземных растений условиям окружающей среды [1]. Галофитная растительность имеет большое эколого-физиологическое значение в связи с тем, что они идеально подходят для рекультивацией и ремедиации засоленных земель [2]. Многие виды галофитов способны накапливать ионы тяжелых металлов (ТМ) [3]. Например, побеги растений *Suaeda salsa* (сведа солончаковая) способны накапливать ионы Cu^{2+} , Cr^{3+} , Pb^{2+} и As^{2+} в количестве 100, 40, 5 и 2 мг г-1 сухой массы [4].

Фундаментальной основой адаптации растений к действию ТМ является способность клеток контролировать транспорт ионов через мембраны. Как показывают литературные данные, ионы Cd^{2+} могут входить в корни растений через неселективные Ca^{2+} -каналы, локализованные в мембранах клетки [5]. Реакции фотосинтетического аппарата и состояние мембран – важных составляющих адаптационного потенциала на действие ТМ, у растений-галофитов остаются мало изученными.

В настоящей работе исследовано влияние Cd^{2+} на параметры фотосинтетического аппарата и структурные компоненты мембран *Suaeda salsa*. В задачу исследования входило изучение пигментного фонда, интенсивности перекисного окисления липидов (ПОЛ) и состава липидов мембран.

S. salsa сем. Chenopodiaceae является типичным эугалофитом, произрастает на засоленных почвах при большом диапазоне минерализации почвенного раствора. Объектами исследования были листья растений *S. salsa*, выращенных в лабораторных условиях, и дикорастущих (Sw) растений, собранных в естественных условиях произрастания в приустьевых участках рек бассейна оз. Эльтон (Волгоградская обл.). Содержание соли в почве исследованного района составляло 5–30 г/л. Температура воздуха в период исследования варьировала в интервале +30... +40 °С, а интенсивность солнечной радиации достигала 1830 мкмоль/(м² с)¹. В лабораторных условиях семена высевали в сосуды с песком, полив осуществляли питательным раствором Робинсона. Растения выращивали при температуре 20–22 °С при освещенности 1400 ± 200 люкс. Одно-возрастные растения разделяли на две группы: контрольные (SK) и опытные образцы (SCd). К опытным растениям в течение 10 дней добавляли раствор, содержащий $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, до достижения конечной концентрации 200 мкМ.

Содержание хлорофиллов (Хл) и каротиноидов (Кар) определяли спектрофотометрически в 80% ацетоновом экстракте, продукты ПОЛ – по содержанию малонового диальдегида, анализ липидов – как описано ранее [6].

Суммарное содержание Хл в листьях исследованных растений варьировало от 0,16 до 0,49 мг/г сырой массы (рис. 1, а). Растения, произраставшие в естественных условиях, характеризовались более низким содержанием Хл и Кар по сравнению растениями, выращенными в лабораторных условиях. Внесение Cd^{2+} в среду выращивания приводило к небольшому увеличению содержания общего количества пигментов (на 10%).

Состав суммарных липидов представлен гликолипидами (ГЛ), фосфолипидами (ФЛ) и нейтральными ипидами (НЛ). Для дикорастущих растений выявлено высокое содержание НЛ, за которыми следуют ГЛ и ФЛ, а в контрольных вариантах – ГЛ, затем НЛ и ФЛ. В присутствии Cd^{2+} увеличивалось содержание всех типов липидов (рис. 1, б). При этом наблюдали перестройки в составе липидов пластидных липидов. Как в дикорастущих растениях, так и растениях, экспонированных с Cd^{2+} , отмечено пониженное содержание моногалактозилдиацилглицерина (МГДГ) и более высокое содержание дигалактозилдиацилглицерина (ДГДГ) и сульфополипида (СХДГ) (рис. 1, в).

Интенсивность процессов ПОЛ в листьях растений SCd и Sw была в 2 раза выше, чем в растениях SK (рис. 1, г).

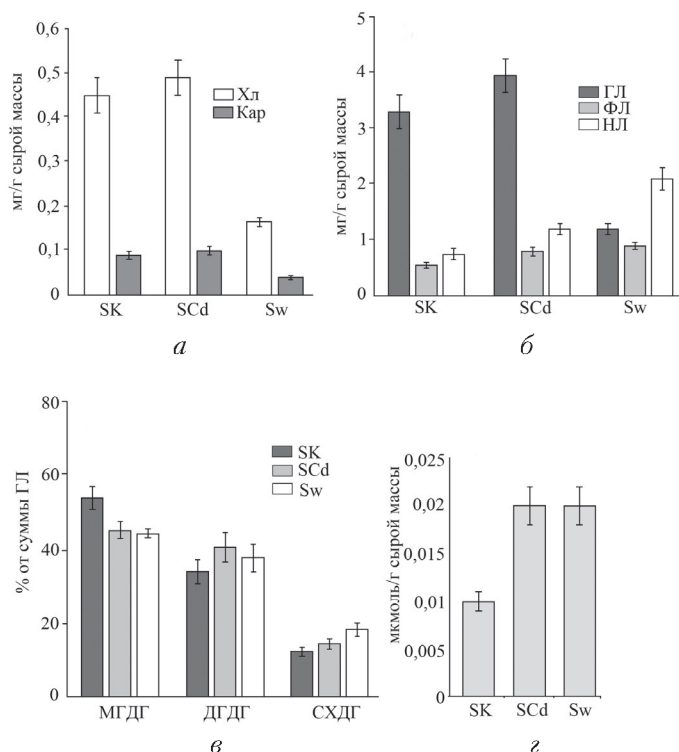


Рис. 1. Параметры фотосинтетического аппарата и структурные компоненты мембран *S. salsa*: а – содержание хлорофилла, каротиноидов; б – содержание основных групп липидов; в – соотношение пластидных липидов; г – уровень перекисного окисления липидов

Проведенные исследования выявили существенные различия в параметрах фотосинтетического аппарата и составе липидов у растений *S. salsa*, выращенных в лабораторных и естественных условиях произрастания. Реакция пигментного фонда и липидов, ответственных за структуру мембран, на действия Cd^{2+} в лабораторных экспериментах была аналогична действию засоления почвы на растениях естественных условиях произрастания. Полученные данные позволяют заключить, что механизмы устойчивости к засолению и действию ионов ТМ у галофитов, во многом реализуются за счет структурных перестроек мембранного аппарата и активации окислительных процессов.

Список литературы

1. Effect of salinity on growth, ion content and water status of glasswort (*Salicornia herbacea* L.) / B. Amiri, M. H. Assareh, M. Jafari, B. Rasuoli, H. Arzani, A. A. Jafari // *Caspian Journal of Environmental Science*. 2010. Vol. 8, № 1. P. 79–87.
2. *Shabala S., Bose J., Hedrich R.* Salt bladders: do they matter? // *Trends in Plant Science*. 2014. Vol. 19, № 11. P. 687–691.
3. *Hameed A., Khan M. A.* Halophytes: biology and economic potentials // *Karachi University Journal of Science*. 2011. Vol. 39. P. 40–44.
4. *Song J., Wang B.* Using euhalophytes to understand salt tolerance and to develop saline agriculture: *Suaeda salsa* as a promising model // *Annals of Botany*. 2014. Vol. 115. P. 541–553.
5. *Розенцвет О. А., Нестеров В. Н., Богданова Е. С.* Структурные и физиолого-биохимические аспекты солеустойчивости галофитов // *Физиология растений*. 2017. Т. 64. С. 251–265.
6. *Нестеров В. Н., Розенцвет О. А., Мурзаева С. В.* Изменение состава липидов у пресноводного растения *Hydrilla verticillata* (L. fil.) Royle в условиях аккумуляции и элиминации ионов тяжелых металлов // *Физиология растений*. 2009. Т. 56, № 1. С. 85–93.